

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕННЯМ ЗАПАСІВ МАТЕРІАЛЬНИХ РЕСУРСІВ В ЕШЕЛОНОВАНІЙ СИСТЕМІ СКЛАДУВАННЯ

Сисоєв В.В., к.т.н., доцент

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

Розглянута задача управління запасами в ешелонованій логістичній системі. Запропонована двохетапна оптимізаційна модель оперативного планування розподілення запасів матеріальних ресурсів у ешелонованій системі складування єдиної системи матеріально-технічного забезпечення силових структур з урахуванням меж мінімального і нормативного забезпечення та коефіцієнтів важливості.

Ключові слова: запаси, система матеріально-технічного забезпечення, ешелонована система складування, склад, розподілення запасів, оптимізаційна модель, коефіцієнт важливості.

Сысоев В. В. ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ СКЛАДИРОВАНИЯ / Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Украина

Рассмотрена задача управления запасами в эшелонированной логистической системе. Предложена двухэтапная оптимизационная модель оперативного планирования распределения запасов материальных ресурсов в эшелонированной системе складирования единой системы материально-технического обеспечения силовых структур с учетом границ минимального и нормативного обеспечения и коэффициентов важности.

Ключевые слова: запасы, система материально-технического обеспечения, эшелонированная система складирования, склад, распределение запасов, оптимизационная модель, коэффициент важности.

Sysoyev V. V. OPTIMIZATION OF MANAGEMENT BY DISTRIBUTION OF SUPPLIES OF MATERIAL RESOURCES IN THE ECHELONED SYSTEM WAREHOUSING / National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Ukraine

The task of management by supplies in the echeloned logistic system is considered. The two stage optimization model of the operative planning of two stage distribution of supplies of material resources out in the echeloned system of warehousing of the single system of logistical support of power structures taking into account the scopes of the minimum and normative of providing and the coefficients of importance is offered.

Key words: supplies, system of logistical support, echeloned system of warehousing, warehouse, distributing of supplies, optimization model, coefficient of importance.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Побудова єдиної системи матеріально-технічного забезпечення (СМТЗ) різних силових структур (СС) держави за територіальним принципом вимагає створення спільної інфраструктури складування, управління матеріальними потоками, у якій являє собою складний процес створення, контролю і регулювання рівнів запасів матеріальних ресурсів (МР) на складах системи з метою найбільш повного і надійного задоволення потреб кінцевих споживачів – організаційних утворень (ОУ) СС.

Запропонована при цьому трирівнева система управління матеріально-технічним забезпеченням, що відображає стратегічне, оперативне і тактичне управління СС, зумовлює ешелонований характер структури системи складування, на відповідних рівнях якої знаходяться центральні, регіональні та локальні склади СМТЗ за видами матеріально-технічного забезпечення [1].

Ешелонована структура передбачає, що склад вищого рівня обслуговує склади нижчого рівня, тобто має місце оптимізаційна логістична задача перерозподілу запасів МР між складами різних рівнів за замовленнями ОУ в умовах обмеженої кількості запасів та детермінованого нестационарного попиту на них з урахуванням норм забезпечення та коефіцієнтів важливості суб'єктів нижчих рівнів. Системний характер та багатовимірність даної задачі вимагає застосування в процесі оперативного планування розподілення запасів методу економіко-математичного моделювання для більш якісного обґрунтування управлінських рішень.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженню проблеми управління запасами присвячено багато наукових праць, однак, як правило, у них розглядаються задачі на рівні мікрологістики, тобто окремих господарюючих суб'єктів. В умовах значних структурних змін в економіці, формування нової інфраструктури регіонів і цілих країн, інтеграції різних підприємств в процесі організації товароруху більш актуальною стає задача управління запасами в макрологістичних системах та ланцюгах постачання, що мають багаторівневу, ешелоновану структуру, в основі якої лежить складська форма постачання [2].

Аналіз сукупних логістичних витрат та рівня обслуговування кінцевих споживачів показує, що використання ешелонованих структур в логістиці виправдовує зберігання певного обсягу запасів товарів на кожному наступному рівні логістичного ланцюга.

Управління розподіленням запасів в ешелонованих логістичних системах є складною комплексною задачею управління поточними процесами в ієрархічних багаторівневих системах, що практично виключає можливість застосування стандартних методів і прийомів. Окремі аспекти розв'язання даної задачі вивчалися таким вченими, як Дж. Шапіро [3], Г. Л. Бродський [4], В. С. Лукінський [5], С. Н. Нагловський [6], Ю. М. Неруш [7] та ін. Однак більшість дослідників розглядають дану задачу як ту чи іншу модифікацію транспортної задачі, не враховуючи питань управління розподіленням запасів між рівнями ієрархічної системи. Найбільш комплексне вирішення задачі управління розподіленням запасів МР в ешелонованій системі складування було надано професором Ю. І. Рижикивим, який узагальнив існуючі підходи до її розв'язання та запропонував комплекс моделей масового обслуговування, що дозволяють розрахувати через ймовірності станів основні показники ефективності управління запасами в ешелонованій системі [8].

Однак у цих роботах не враховуються оптимізаційний характер даної задачі, а також особливості управління розподіленням запасів у СМТЗ СС в умовах обмеження й нормування МР та різної пріоритетності їх споживачів.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ

Метою статті є дослідження процесу управління запасами МР в ешелонованій системі складування єдиної СМТЗ СС та розробка моделі оптимізації управління розподіленням запасів з урахуванням меж мінімального і нормативного забезпечення МР та коефіцієнтів важливості споживачів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Ураховуючи внутрішньосистемний плановий характер перерозподілу наявних запасів МР між складами різних рівнів єдиної СМТЗ, що спрямований у першу чергу на максимальне задоволення потреб ОУ СС, ніж на мінімізацію витрат на їх зберігання та доставку, застосування класичних моделей управління розподіленням запасів, що оптимізують саме витратні параметри процесу постачання МР при їх закупівлі в зовнішніх постачальників, є недоцільним.

У даному випадку більш ефективними є механізми управління матеріальними потоками, відомі з виробничої логістики як “штовхаючі” (*push*) та “тягнучі” (*pull*) системи, які ґрунтуються на замовленнях споживачів, що відображають їхні потреби в ресурсах на певний період часу [9]. У “штовхаючій” системі управління на основі замовлень, що надходять тільки один раз і відображають загальні потреби всіх споживачів у ресурсах на плановий період, формується план постачань ресурсів на весь цей період, які потім здійснюються за командою центру управління. На відміну від цього “тягнуча” система ґрунтується на багаторазових замовленнях, що надходять від споживачів у разі виникнення в них потреби в ресурсах, при цьому постачання ресурсів є відповідною реакцією на отримане замовлення. Визначальним при виборі системи управління є терміни експлуатації, споживання чи зберігання МР кожного типу, що потребує їх групування за допомогою XYZ-аналізу чи кластерного аналізу [10].

Вихідними даними для розв'язання задачі управління розподіленням запасів МР в ешелонованій системі складування єдиної СМТЗ СС є:

Q – загальна кількість СС;

$L_q, q = \overline{1, Q}$ – кількість видів ОУ q -ої СС;

R – кількість регіональних систем у складі єдиної СМТЗ (кількість регіонів);

$N_{lqr}, l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; r = \overline{1, R}$ – кількість ОУ l -го виду q -ої СС, що дислокуються в r -му регіоні;

S – кількість типів МР;

T – плановий період матеріально-технічного забезпечення.

Узагальнена схема процесу логістичного управління розподіленням наявних запасів МР в ешелонованій системі складування єдиної СМТЗ СС за одним видом матеріально-технічного забезпечення наведена на рис. 1.

Як бачимо, у процесі логістичного управління матеріальними потоками в єдиній СМТЗ розв'язуються дві окремі задачі розподілення запасів МР різного ступеня агрегування:

- задача розподілення запасів між регіональними складами;

- задача розподілення запасів між локальними складами ОУ,

узгодженість яких забезпечується процесами координації в межах одного рівня ієрархії та стабілізуючими зворотними зв'язками між сусідніми рівнями ієрархії.

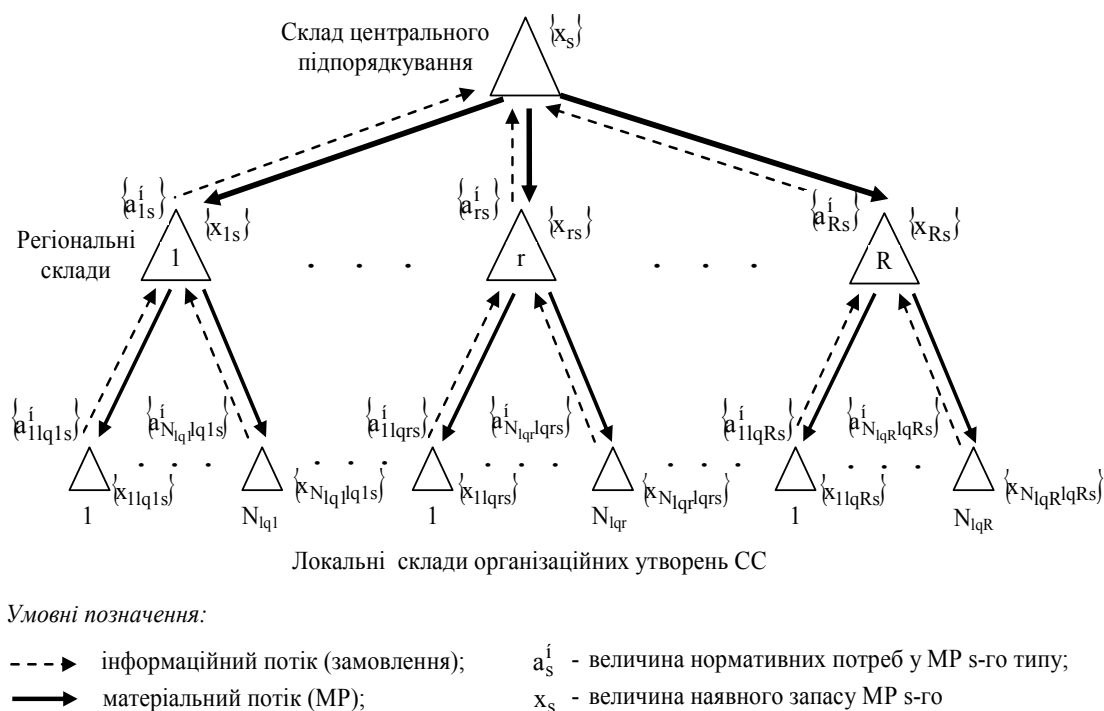


Рис. 1. Схема розподілення запасів МР в ешелонованій системі складування єдиної СМТЗ СС

Джерелами, що ініціюють процес управління розподіленням запасів МР, є служби матеріально-технічного забезпечення ОУ СС, які видають замовлення на МР кожного типу на плановий період часу ("штовхаюча" система) або на певний обсяг МР ("тягнуча" система) відповідно до своїх потреб $\{a_{nlqs}^i\}$, $n = \overline{1, N_{lqr}}$; $l = \overline{1, L_q}$; $q = \overline{1, Q}$; $r = \overline{1, R}$; $s = \overline{1, S}$, які обумовлені складом і чисельністю ОУ, їх штатом, нормами забезпечення, станом і строками експлуатації наявних МР, заданими рівнями поточних і непорушних запасів на локальних складах, планами підготовки, видами службової та службово-бойової діяльності, що ними виконуються.

Потреби кожного ОУ у МР будь-якого типу характеризуються їх мінімальними та нормативними величинами a_{nlqs}^{\min} , a_{nlqs}^i , $n = \overline{1, N_{lqr}}$; $l = \overline{1, L_q}$; $q = \overline{1, Q}$; $r = \overline{1, R}$; $s = \overline{1, S}$, які відповідають підтриманню мінімального та максимального рівнів службово-бойових спроможностей цих ОУ — P_{nlq}^{\min} і P_{nlq}^{\max} , причому поточний рівень службово-бойових спроможностей ОУ залежить від величини наявного запасу МР кожного типу: $P_{nlq} = f(x_{nlqs})$, $s = \overline{1, S}$.

Мінімальні потреби, що забезпечують життєдіяльність ОУ, мають бути гарантовано забезпечені, а обмеження максимальних потреб пояснюється не тільки недоцільністю накопичення надлишкових запасів МР за функцією насиченості, а й необхідністю економії логістичних витрат за рахунок зниження сукупної величини запасів, утримання яких на локальних складах ОУ, не завжди призначених для довгострокового зберігання МР, є досить збитковим. До того ж з практики відомо, що витрати на безпосереднє зберігання одиниці запасу тим нижче, чим вище рівень складу, що також не стимулює необґрунтовану передачу запасів МР на склади нижчого рівня.

Окрім поточних запасів МР, що визначаються потребами ОУ, на складах кожного рівня ешелонованої системи складування зберігаються непорушні запаси (стратегічні, оперативні, військові (тактичні)), призначені для здійснення безперервного забезпечення ОУ СС. Величини непорушних запасів за типами МР на кожному рівні складування є постійними і підлягають періодичному оновленню. Для спрощення задачі будемо вважати непорушні та поточні запаси МР єдиним запасом.

Слід підкреслити, що потреби ОУ залежать від інтенсивності витрачання (середньодобової), середньої тривалості доставки та встановленого рівня страхового запасу МР на його локальному складі, що визначає попит ОУ як детермінований і нестационарний.

Точне номенклатурне відслідковування запасів, надійний і постійний контроль за їх змінами дозволяє утримувати економічно обґрунтований їх рівень. Урахування нестационарності попиту в “штовхаючій” системі забезпечується уточненням ОУ замовлення на певний період, що зумовлює корегування загального плану постачання МР, а в “тягнучій” системі – зміною ОУ обсягу замовлення.

Замовлення від ОУ СС надходять до регіонального центру управління матеріально-технічним забезпеченням (РЦУМТЗ), у зоні обслуговування якого вони знаходяться. Залежно від прийнятої для типу МР системи управління їх розподіленням на регіональному рівні можливі два варіанти дій:

- при “штовхаючій” системі завжди, а при “тягнучій” у випадку, якщо на регіональному складі відповідної регіональної СМТЗ відсутні запаси МР певних типів або їх кількість недостатня для задоволення вказаних у замовленнях потреб, РЦУМТЗ формує загальне за даний r -й регіон замовлення на МР даних типів $\{a_{rs}^i\}, r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S}$ і подає його до центрального органу управління (ЦОУ) єдиної СМТЗ;
- при “тягнучій” системі, якщо на складі регіональної СМТЗ r -го регіону є запаси МР потрібного типу $\{x_{rs}\}, s = \overline{1, S}$ у достатній кількості, РЦУМТЗ розподіляє їх між локальними складами ОУ $\{y_{nlqrs}\}, n = \overline{1, N_{lqr}}; l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S}$, що дислокуються в даному регіоні, з метою максимального задоволення їхніх потреб (максимізації середньозваженого сумарного рівня службово-бойових спроможностей окремих ОУ – P_{nlqr}).

Отримавши замовлення від РЦУМТЗ, ЦОУ визначає загальні потреби всіх ОУ СС за кожним типом МР $\{a_s^i\}, s = \overline{1, S}$. Порядок подальших дій ЦОУ також залежить від прийнятої для кожного типу МР системи управління їх розподіленням. Так, при “штовхаючій” системі управління, розробляється план-графік постачання МР на весь плановий період $\{x_{st}\}, s = \overline{1, S}; t = \overline{1, T}$, а розподілення їх між регіональними складами здійснюється при надходженні команди на постачання. У “тягнучій” системі розподілення МР між регіональними складами $\{x_s\}, s = \overline{1, S}$ відбувається відразу після отримання чергового замовлення від РЦУМТЗ.

Ураховуючи незалежність і схожість процесів розподілення запасів МР в ешелонованій системі складування єдиної СМТЗ за типами ресурсів та періодами постачання, доцільно розглядати задачу визначення оптимального плану розподілення запасів для одного типу МР та одного періоду чи одного замовлення (оперативне планування).

Управління розподіленням запасів МР між регіональними складами ґрунтується на комплексному поєднанні двох коефіцієнтів їх важливості:

- перший коефіцієнт показує відносну насиченість МР s -го типу кожного регіонального складу відповідно до норм забезпечення даним типом МР усіх ОУ, що дислоковані в r -му регіоні:

$$w_{rs} = \frac{z_{rs}^i}{R \sum_{r=1}^R z_{rs}^i}, s = \overline{1, S}, \quad (1)$$

де z_{rs}^i – величина запасів МР s -го типу, що відповідає сукупним нормативним потребам у МР даного типу усіх ОУ, що дислокуються в r -му регіоні, за певний період часу:

$$z_{rs}^i = \sum_{n=1}^{N_{lqr}} \sum_{l=1}^{L_q} \sum_{q=1}^Q a_{nlqs}^i, r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S}; \quad (2)$$

- другий коефіцієнт відображає відносну величину дефіциту запасів МР s -го типу на кожному регіональному складі:

$$u_{rs} = \frac{\Delta_{rs}}{R \sum_{r=1}^R \Delta_{rs}}, s = \overline{1, S}, \quad (3)$$

де Δ_{rs} – величина дефіциту запасів МР s-го типу на регіональному складі r-го регіону в момент розподілення, причому:

$$\Delta_{rs} = z_{rs}^i - x_{rs}, r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S}, \quad (4)$$

де x_{rs} – величина наявного запасу МР s-го типу на регіональному складі r-го регіону в момент розподілення.

Комплексний коефіцієнт важливості регіонального складу r-го регіону при розподіленні запасів s-го типу МР визначається як:

$$\delta_{rs} = \frac{w_{rs} u_{rs}}{\sum_{r=1}^R w_{rs} u_{rs}}, r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S}. \quad (5)$$

Математична модель задачі оптимального управління розподіленням запасів МР s-го типу між регіональними складами за критерієм максимізації середньозваженої цінності запасів для задоволення потреб регіональної СМТЗ з урахуванням комплексного коефіцієнта важливості її регіонального складу має вигляд:

$$\sum_{r=1}^R \delta_{rs} y_{rs} \rightarrow \max, s = \overline{1, S}, \quad (6)$$

за умови виконання обмежень:

- урахування меж мінімального і нормативного забезпечення на другому рівні ешелонованої системи складування:

$$z_{rs}^{\min} \leq y_{rs} \leq z_{rs}^i, r = \overline{1, R}, \quad (7)$$

де z_{rs}^{\min} – величина запасів МР s-го типу, що відповідає сукупним мінімальним потребам у МР даного типу всіх ОУ, що дислокуються в r-му регіоні, за певний період часу:

$$z_{rs}^{\min} = \sum_{n=1}^{N_{lqr}} \sum_{l=1}^{L_q} \sum_{q=1}^Q a_{nlqs}^{\min}, r = \overline{1, R}; \quad (8)$$

- урахування меж мінімального і нормативного забезпечення на першому рівні ешелонованої системи складування:

$$z_s^{\min} \leq \sum_{r=1}^R y_{rs} \leq z_s^i, \quad (9)$$

де z_s^{\min} , z_s^i – величини запасів МР s-го типу, що відповідають сукупним мінімальним та нормативним потребам у МР даного типу всіх ОУ СС у цілому, за певний період часу:

$$z_s^{\min} = \sum_{n=1}^{N_{lqr}} \sum_{l=1}^{L_q} \sum_{q=1}^Q \sum_{r=1}^R a_{nlqs}^{\min}; \quad z_s^i = \sum_{n=1}^{N_{lqr}} \sum_{l=1}^{L_q} \sum_{q=1}^Q \sum_{r=1}^R a_{nlqs}^i; \quad (10)$$

при наявності запасів МР на регіональних складах:

- на сумарні запаси МР s-го типу, що розподілені між усіма регіональними складами:

$$\sum_{r=1}^R y_{rs} \leq \sum_{r=1}^R x_{rs} + x_s, \quad (11)$$

де x_s – величина наявного запасу МР s-го типу на складі центрального підпорядкування в момент розподілення.

- на запаси МР s-го типу, що виділені конкретному регіональному складу:

$$y_{rs} \geq x_{rs}, r = \overline{1, R}; \quad (12)$$

при відсутності запасів МР на регіональних складах:

- на сумарні запаси МР s-го типу, що розподілені між усіма регіональними складами:

$$\sum_{r=1}^R y_{rs} \leq x_s, \quad (13)$$

при цьому обмеження (7) зникає, а комплексний коефіцієнт важливості регіонального складу визначається тільки відносною величиною дефіциту запасів МР s-го типу на кожному складі:

$$\delta_{rs} = u_{rs}, r = \overline{1, R}. \quad (14)$$

Результатом вирішення першого етапу задачі є вектор оптимального розподілення запасів МР s-го типу між регіональними складами:

$$y_s^* = [y_{1s}^*, \dots, y_{rs}^*, \dots, y_{Rs}^*]; \quad (15)$$

$$\sum_{r=1}^R y_{rs}^* = x_s, \quad (16)$$

де y_{rs}^* – обсяг запасів МР s-го типу, що мають бути виділені на регіональний склад r-го регіону, з урахуванням рівня накопичених запасів МР відносно норм забезпечення ОУ, що дислокуються в даному регіоні, та величини дефіциту запасів МР на даному регіональному складі.

Другий етап задачі полягає в розподіленні запасів МР, які знаходяться на кожному регіональному складі, між локальними складами ОУ, що дислоковані у відповідному регіоні. При цьому будемо вважати, що на локальних складах ОУ СС завжди залишається страховий запас будь-якого типу МР – x_{nlqrs}^{cc} . Таким чином, постає задача визначення оптимального плану розподілення запасів МР кожного типу в кожному окремому регіоні за критерієм максимізації середньозваженого сумарного рівня службово-бойових спроможностей ОУ СС, що входять до складу територіального угруповання, яке розгорнуте в r-му регіоні:

$$\sum_{n=1}^{N_{lqr}} \beta_{nlqr} P_{nlqr} \rightarrow \max, l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; r = \overline{1, R}, \quad (17)$$

де β_{nlqr} – коефіцієнт важливості n-го ОУ l-го виду q-ї СС, що дислокується у r-му регіоні, який може бути розрахований за допомогою експертних методів,

за умови виконання обмежень:

- урахування меж мінімального і нормативного забезпечення на другому рівні ешелонованої системи складування:

$$z_{rs}^{\min} \leq \sum_n y_{nlqrs} \leq z_{rs}^i, l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; r = \overline{1, R}; \quad (18)$$

- урахування меж мінімального і нормативного забезпечення на третьому (нижньому) рівні ешелонованої системи складування:

$$z_{nlqs}^{\min} \leq y_{nlqrs} \leq z_{nlqs}^i, n = \overline{1, N_{lqr}}; l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}, \quad (19)$$

де $z_{nlqs}^{\min}, z_{nlqs}^i$ – величини запасів МР s-го типу, що відповідають мінімальним та нормативним потребам у МР даного типу n-го ОУ l-го виду q-ї СС за певний період часу:

$$z_{nlqs}^{\min} = a_{nlqs}^{\min}, z_{nlqs}^i = a_{nlqs}^i, n = \overline{1, N_{lqr}}; l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; \quad (20)$$

- на сумарні запаси МР s-го типу, які розподілені між усіма локальними складами ОУ, що дислоковані в г-регіоні:

$$\sum_{n=1}^{N_{lqr}} y_{nlqs} \leq \sum_{n=1}^{N_{lqr}} x_{nlqs}^{\tilde{n}_c} + x_{rs} + y_{rs}^*, l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; \quad (21)$$

- на запаси МР s-го типу, що виділені конкретному локальному складу ОУ, що дислокується в г-му регіоні:

$$y_{nlqs} \geq x_{nlqs}^{\tilde{n}_c}, n = \overline{1, N_{lqr}}; l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}. \quad (22)$$

Результатом розв'язку другого етапу задачі є вектор оптимального розподілення запасів МР s-го типу між усіма локальними складами ОУ, що дислокуються в г-му регіоні:

$$y_{rs}^* = [y_{1lqs}^*, \dots, y_{nlqs}^*, \dots, y_{N_{lqr}lqs}^*], l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}; \quad (23)$$

$$\sum_{n=1}^{N_{lqr}} y_{nlqs}^* = y_{rs}^*, l = \overline{1, L_q}; q = \overline{1, Q}, \quad (24)$$

де y_{nlqs}^* – обсяг запасів МР s-го типу, що мають бути виділені на локальний склад n-го ОУ l-го виду q-ої СС, що дислокується в г-му регіоні, для досягнення максимального рівня службово-бойових спроможностей територіального угруповання ОУ різних СС, розгорнутого в даному регіоні.

ВИСНОВКИ

Оптимальне управління розподіленням запасів МР між складами різних рівнів ешелонованої системи складування єдиної СМТЗ з використанням механізмів “штовхаючої” та “тягнутої” систем управління матеріальними потоками дозволяє максимально задовольнити потреби ОУ в МР з урахуванням коефіцієнтів важливості, що відображають рівень накопичених запасів МР відносно норм забезпечення ОУ, що дислокуються в даних регіонах, та величину дефіциту запасів МР на регіональних складах, та коефіцієнтів важливості кінцевих споживачів – ОУ СС.

У подальшому доцільно об'єднати статичну і динамічну постановки задачі оптимізації управління розподіленням запасів МР у ешелонованій системі складування єдиної СМТЗ СС, що дозволить врахувати процеси децентралізованих закупівель та транспортування МР з центральних та регіональних складів до локальних складів ОУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романов А. А. К вопросу о единой системе военно-экономического обеспечения силовых структур / А. А. Романов // Военно-экономический вестник. — 2004. — № 9. — С. 6—13; № 10. — С. 6—15.
2. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / под общ. науч. ред. проф. В. И. Сергеева. — М. : ИНФРА-М, 2008. — 976 с.
3. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / Дж. Шапиро; [пер. с англ. / под ред. В. С. Лукинского]. — СПб. : Питер, 2006. — 720 с.
4. Бродецкий Г. Л. Экономико-математические методы и модели в логистике: потоки событий и системы обслуживания : учеб. пособ. / Г. Л. Бродецкий. — М. : Издательский центр “Академия”, 2009. — 272 с.
5. Модели и методы теории логистики : учеб. пособ. / под ред. В. С. Лукинского. — [2-е изд.]. — СПб. : Питер, 2007. — 448 с.
6. Нагловский С. Н. Логистика проектирования и менеджмента производственно-коммерческих систем : монография / С. Н. Нагловский. — Калуга : Манускрипт, 2002. — 336 с.
7. Неруш Ю. М. Логистика : учеб. / Ю. М. Неруш. — [4-е изд., перераб. и доп.]. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2006. — 520 с.

8. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами : учеб. пособ. / Ю. И. Рыжиков. — СПб. : Питер, 2001. — 384 с.
9. Крикавський Є. В. Логістичне управління : підруч. / Є. В. Крикавський. — Львів : Вид-во Нац. у-ту “Львівська політехніка”, 2005. — 684 с.
10. Григорьев М. Н. Управление запасами в логистике: методы, модели, информационные технологии : учебн. пособ. / М. Н. Григорьев, А. П. Долгов, С. А. Уваров. — СПб. : Изд. дом “Бизнес-пресса”, 2006. — 368 с.